

AUTORES: Montserrat Pujolà, Teresa Balanyà y M^aTeresa Clotet

PONENTES: Montserrat Pujolà y Teresa Balanyà

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. CEIB-UPC

C/Urgell 186 08036 BARCELONA, ESPAÑA

TEL. 934137493

FAX 934137501

e-mail: montserrat.pujola@upc.es

teresa.balanya@upc.es

II Congreso Iberoamericano de Química y Física Ambiental

5-9 Noviembre 2001 Varadero (Cuba)

LA UTILIZACIÓN DE LODOS DE DEPURADORAS URBANAS EN LA RESTAURACIÓN DE TERRENOS DEGRADADOS : METALES PESADOS

Montserrat Pujolà¹, Teresa Balanyà¹ y Teresa Clotet

INTRODUCCIÓN

La degradación medioambiental causada por las obras lineales, la extracción de áridos y los terrenos devastados por incendios, hacen necesario tomar medidas efectivas para restablecer el equilibrio paisajístico logrando unas condiciones en el suelo que eviten los procesos erosivos y permitan la reimplantación de la cubierta vegetal. Uno de los principales problemas de estos suelos es su bajo contenido en materia orgánica y en nutrientes. Los lodos de depuradora pueden ser una solución para la rehabilitación de estos espacios, ya que son ricos en materia orgánica y nutrientes, a la vez que se abre otra posibilidad de valorización de estos materiales diferente a la agrícola (White et al. 1997, Sopper 1993, Dudkowski 2001). Las técnicas de restauración consisten en realizar una única intervención inicial sobre el terreno, de manera que para garantizar el desarrollo correcto de la cubierta vegetal, a lo largo de los años, parece interesante la utilización de altas dosis de lodos, muy superiores a las agronómicas de aplicación periódica. La aplicación al suelo de lodos de depuradora a dosis agronómicas está reconocida como la mejor opción medioambiental (Best Practical Environmental Option) para este residuo, ya que aporta nutrientes (N y P) a los cultivos y puede mantener y mejorar la fertilidad del suelo (Chambers BJ. 1996). No obstante, no hay que olvidar, los riesgos de este uso, entre ellos el aumento de metales pesados en el suelo y en los cultivos (Chang AC et al. 1984, Barbaric KA et al. 1997, Berti WR et al. 1998), por lo tanto, su utilización a altas dosis requiere estudios previos.

Se ha realizado un ensayo de campo para determinar los efectos causados al utilizar dosis altas de lodos de depuradora en la restauración de una cantera de piedra caliza, abarcándose diferentes ámbitos de estudio (Balanyà et al. 1994, Comellas L et al. 1994, Sort y Alcañiz, 1996, Bonmatí M et al. 1996). En el presente trabajo sólo se incluyen los resultados sobre el contenido y la biodisponibilidad de los metales en el suelo, su movilidad a lo largo de la parcela y su contenido en la cubierta vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se han comparado dos dosis de lodos de depuradora respecto a un control. La dosis alta se ha calculado de acuerdo con los kilos de Cd por ha (1,5) que se pueden aplicar en un periodo de 10 años según la legislación española sobre la aplicación agrícola de lodos (RD 1310/1990), resultando una proporción lodo/suelo del 15% (p/p). La dosis inferior es la mitad de la anterior (lodo/suelo 7,5% (p/p)). Se han ensayado dos formas de aplicación de los lodos: el lodo aplicado directamente sobre la tierra del talud a restaurar (F_{7,5}A y F₁₅A) y la mezcla previa del lodo con la tierra y colocación posterior de una capa de 40cm en el talud a restaurar (F_{7,5}B y F₁₅B). Las parcelas experimentales están

¹ CEIB. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC.ES

legislación española para suelos con $\text{pH} > 7$ aptos para recibir lodos (RD 1310/1990). No se han encontrado diferencias significativas respecto al punto de muestreo (A, B; C), de manera que al 4º año de experiencia no se detecta acumulación de metales en la parte inferior de la parcela. Estos resultados son coherentes con la disminución de la erosión y la escorrentía superficial observada para todos los tratamientos con lodos (Sort y Alcañiz, 1996) y una presencia de metales en los lixiviados prácticamente insignificante (Balanya et al. 1994), lo que indica una baja movilidad de los metales a causa de la pendiente.

Metales mg .Kg ⁻¹ ms ⁻¹	Control		F _{7,5} A		F _{7,5} B		F ₁₅ A		F ₁₅ B	
	1º	4º	1º	4º	1º	4º	1º	4º	1º	4º
Cu	2,3	1,7	5,8	4,6	4,6	2,9	8,3	5,9	7,4	4,5
Ni	0,3	<0,4	0,7	<0,4	0,6	<0,4	1,2	0,6	1,0	0,5
Pb	3,7	3,3	4,4	5,1	3,6	2,8	6,4	4,3	5,5	3,9
Zn	2,2	2,1	10,1	9,1	8,1	5,1	20,1	12,8	12,9	7,7

Tabla 2- Contenido de metales asimilables en el suelo extractables con DTPA al cabo de 1º y 4º años.

La aplicación de lodos provoca un claro aumento de la biodisponibilidad del Cu y Zn respecto al control (Tabla 2), siendo el efecto más acusado para el Zn ya que es el metal aportado en mayor cantidad (Tabla 1). Cu y Zn también presentan diferencias significativas ($\alpha < 0.05\%$) respecto a la dosis pero sin observarse proporcionalidad clara entre ellas. La aplicación directa muestra aumentos significativos para el Cu, Pb y Zn,. No se observan cambios en la disponibilidad del Cd y Cr, que se encuentran en todos los tratamientos y muestreos a niveles $< 0.1\text{mg/Kg}$. El punto de muestreo analizado (A, B, C), no tiene repercusión en el resultado igual que en el caso de los metales extractables con HNO_3 2M, por lo tanto se confirma que no hay movimiento de metales debido a la pendiente de la parcela. Al cabo de 4 años de realizada la aplicación se observa en todos los tratamientos un descenso de la fracción disponible atribuible al efecto de las características del suelo sobre la solubilidad de los metales (pH básico y presencia de carbonatos).

Sobre los tejidos vegetales (Tabla 3) no se detecta el efecto de la dosis en ninguno de los metales estudiados, pero si que se observa el efecto de la forma de aplicación, siendo la aplicación directa la que ha provocado aumentos significativos de Cu, Pb y Zn básicamente después del 1º año de experiencia. El contenido de metales en la planta va disminuyendo a lo largo del tiempo, obteniéndose el 4º año niveles similares entre los tratamientos con lodos respecto al control.

El sistema de aplicación directa supone claramente un aumento de metales respecto a la mezcla previa a todos los niveles estudiados, al concentrar los lodos en la parte superficial de la parcela, efecto que hay que considerar para determinar la dosis a realizar. No se ha observado transporte de metales a lo largo de la parcela. Estos resultados junto a que el pH del suelo continua siendo superior a la neutralidad permiten considerar un riesgo bajo de transferencia de metales a la cubierta vegetal.

AUTORES: Manuel Bonmatí, Teresa Balanyà, , Maria Julià , Eva Nuñez y Montserrat Pujolà

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. CEIB-UPC

Urgell 187 08036 BARCELONA, CATALUÑA

TEL. 934137493

FAX 934137501

e-mail: manuel.bonmati@upc.es

II Congreso Iberoamericano de Química y Física Ambiental

5-9 Noviembre 2001 Varadero (Cuba)

APLICACIÓN DE LODOS DE DEPURADORA URBANA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS: ESTUDIO COMPARATIVO “*IN VITRO*” DE LA DINÁMICA DEL FÓSFORO Y LA ACTIVIDAD FOSFATÁSICA EN SUELOS ENMENDADOS CON UN LODO SOMETIDO A DISTINTOS POSTRATAMIENTOS

Manuel Bonmatí, Teresa Balanyà, Maria Julià, Eva Núñez, Montserrat Pujolà
Escola d'Agricultura. CEIB-UPC Urgell 187, 08036 Barcelona. Cataluña. España

Resumen- El uso de lodos de depuradora para la restauración de espacios degradados es una posible vía de utilización de estos residuos. En este caso parece aceptable la aplicación de altas dosis, muy superiores a las agronómicas, ya que se trata de intervenciones únicas que han de proporcionar, a lo largo de los años, las condiciones favorables para que la cubierta vegetal se implante y evolucione correctamente. Esta práctica aumenta los riesgos ya conocidos para dosis agronómicas como son las pérdidas de N y P, con el consiguiente riesgo de contaminación de las aguas y de transferencia de metales pesados a la cadena trófica.

El objetivo de esta experiencia es el estudio de la influencia del añadido de altas dosis de lodo deshidratado procedente de depuradora urbana en el proceso restaurador de dos tipos de suelos degradados (arcilloso y arenoso). El estudio incluye también la comparación del efecto de este lodo según cual haya sido el tipo de postratamiento al que se haya sometido antes de su aplicación al suelo: no postratado (LD), secado térmico (LT), compostado (LC). Se añadieron dos proporciones distintas de cada uno de los tres tipos de lodo a los dos suelos con el fin de suministrar un contenido teórico de C oxidable a las mezclas suelo-lodo de 2% y 4% sobre materia seca respectivamente. Las mezclas se incubaron durante diez meses a 25° C y se mantuvieron al 50% de su capacidad de campo. Se prepararon controles de cada suelo a los que no se añadió lodo y se incubaron en las mismas condiciones. Cada una de las mezclas y controles se prepararon por triplicado. Se realizaron muestreos periódicos para determinar los contenidos de P y actividad fosfatásica.

En general, al añadir cualquiera de los lodos ensayados se produce un aumento de los dos parámetros objeto de estudio en ambos suelos, aumentos que son superiores al aumentar la dosis de lodo. En todos los casos las mezclas con LC presentan valores inferiores a las correspondientes a las mezclas con LD y LT, las cuales tienen valores similares.

Los valores de P Olsen de las mezclas oscilan entre 100 y 400 mg kg⁻¹, lo cual supone un notable incremento respecto a los valores de los suelos control, que son menores de 3 mg kg⁻¹. En las mezclas de ambos tipos de suelo con LT se observa una tendencia a la disminución progresiva de su contenido en este parámetro.

La actividad fosfatásica total media global (incluyendo todos los muestreos realizados, los dos suelos analizados y las dos distintas dosis de lodo) aumenta unas tres veces al añadir LC a ambos suelos y unas 12 veces cuando se añaden los otros dos tipos de lodo. Los incrementos son siempre mayores en el suelo arenoso que en el arcilloso y en la mezcla con LD que en la que contiene LT. La actividad específica (calculada respecto al contenido de C) de los dos suelos no es, en cambio, aumentada por el añadido de los lodos. De todo ello se deduce que los incrementos observados en los valores de la actividad total son debidos al efecto activador que la materia orgánica fresca del lodo ejerce sobre la biomasa microbiana de los suelos. Las actividades de las mezclas con LC varían poco a lo largo del tiempo de incubación y en cambio las de las otras dos mezclas van disminuyendo en ambos suelos, especialmente a partir de los dos meses. Algunas de las diferencias más importantes que se observan entre las tres mezclas, tanto en cuanto a su contenido medio como a su evolución, son explicables por la esperable mayor madurez de la materia orgánica del lodo compostado y parecen indicar que la fosfatasa está fundamentalmente asociada a la materia orgánica más estabilizada.

Palabras clave: fósforo Olsen, actividad fosfatásica, suelo degradado, lodo de depuradora

INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones más rentables de los lodos de depuradora urbana, que presentan contenidos importantes de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, es su utilización en la restauración de suelos degradados para mejorar su fertilidad y acelerar su proceso de restauración. Esta opción presenta la ventaja de poder añadir los lodos a dosis altas y únicas y en espacios relativamente reducidos, pero tiene el inconveniente del aumento del riesgo de contaminación de la capa freática por lixiviación, por ejemplo, de nitratos y metales pesados. La acumulación de P en el suelo no presenta en principio este problema dada su poca movilidad, pero en cambio puede tener consecuencias ambientales negativas considerables para los sistemas limnológicos, ya que el P es el elemento que incide más directamente en la eutrofización de las aguas.

La actividad fosfatásica es uno de los parámetros cuya determinación es aconsejable durante el proceso de restauración de suelos con lodos de depuradora, ya que nos indica en cada momento la potencialidad de transformar el fósforo orgánico en asimilable y es asimismo un índice de fertilidad biológica global. El añadido de diferentes tipos de lodo aumenta la actividad fosfatásica de los suelos degradados (García et al., 1994, Bonmatí et al., 2000, Emmerling et al., 2000).

Existe una tendencia creciente a someter el lodo deshidratado a distintos postratamientos con el fin de mejorar sus características como enmienda orgánica y de facilitar su transporte y su aplicación. Entre estos postratamientos destacan los que disminuyen su volumen y eliminan microorganismos patógenos, como el compostaje, que estabiliza su materia orgánica, y el secado térmico. Los efectos de la aplicación sobre los suelos, a dosis elevadas, de los lodos sometidos a los dos tipos de postratamientos mencionados son poco conocidos.

El objetivo de esta experiencia es el estudio comparativo de la influencia del lodo deshidratado, cuando se aplica en la restauración de dos tipos de suelos degradados, sobre el contenido en P y la actividad fosfatásica, según el tipo de tratamiento al que se ha sometido antes de añadirlo (no modificado, compostado, o secado térmicamente) y la proporción a la que se añade.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Los datos que exponemos a continuación están referidos a contenido respecto a materia seca.

Suelos. Arcilloso: Clase textural (ISSS) Franca, pH 8.7, CaCO_3 25.4%, C 0.5%, arena 31%, limo 30%, arcilla 39%. Arenoso: Clase textural (ISSS) Arenosa, pH 8.8, CaCO_3 0.6%, C 0.2%, arena 77%, limo 8%, arcilla 16%.

Lodos. Deshidratado(LD): de digestión anaeróbica, proveniente de la depuradora de Blanes pH 8.3, materia orgánica (m.o.) 668.9 g kg^{-1} , N 46.6 g kg^{-1} , P 19.1 g kg^{-1} , K 0.7 g kg^{-1} .

Secado térmico(LT): pH 7, m.o. 674.6 g kg^{-1} , N 44.5 g kg^{-1} , P 17.9 g kg^{-1} , K 0.8 g kg^{-1} .

Compostado (LC): pH 7.3; m.o. 643.0 g kg^{-1} ; N 33.6 g kg^{-1} , P 15.6 g kg^{-1} , K 1.1 g kg^{-1} .

Diseño experimental y metodología. Se añadieron en lisímetros, previamente homogeneizadas y por triplicado, mezclas consistentes en dos proporciones distintas de cada uno de los tres tipos de lodo a los dos suelos. Las proporciones se fijaron en función de suministrar un contenido teórico de C oxidable a las mezclas de 2% (L) y 4% (H) sobre materia seca respectivamente. Las mezclas, cuya masa oscilaba entre 40 y 50 kg, se incubaron durante diez meses a 25° C y se regaron periódicamente para mantener una humedad que correspondiera al 50% de su capacidad de campo. Independientemente se prepararon por triplicado controles con cada uno de los dos suelos a los que no se añadió lodo y fueron incubados en las mismas condiciones. Se tomaron muestras periódicamente, que se secaron al aire y se tamizaron (2 mm), y en ellas se determinaron los contenidos de fósforo Olsen (GTNMA 1982), carbono oxidable (Walkey, 1935) y actividad fosfatásica (Bonmatí et al., 1985). Los resultados, referidos a muestra seca, se expresan respectivamente en mg de P por kg, g de C por 100 g, μmol p-nitro fenol por g y hora (actividad total), μmol p-nitro fenol por g de C y hora (actividad específica).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad fosfatásica. Los valores medios globales, incluyendo todas las fechas de muestreo, las tres réplicas realizadas y las repeticiones efectuadas en cada muestra, indican (Tabla 1) que el añadido de cualquiera de los lodos ensayados aumenta la actividad de ambos suelos y que el incremento es mayor al aumentar la dosis de lodo. Comparando las medias de ambas dosis para cada una de las distintas mezclas observamos que la actividad total del suelo arenoso es aumentada 20, 13 y cuatro veces respectivamente por la adición de LD, LT y LC mientras que la específica no es incrementada por el añadido de LD y LT y tiene un valor del orden de la mitad del suelo control en la mezcla con LC. En el suelo arcilloso los aumentos por la adición de los tres tipos de lodo son de ocho, siete y dos veces en la actividad total y del mismo orden que en el suelo control en la específica. De todo ello se deduce que la materia orgánica de los lodos tiene una baja actividad fosfatásica, debido probablemente al efecto inhibitorio que sobre ésta ejerce su alto contenido en fósforo asimilable. Los incrementos obtenidos por la adición de lodo al suelo se explicarían pues fundamentalmente por la activación que su materia orgánica produce sobre la biomasa microbiana de éste. Este hecho explica que los incrementos relativos por la adición de lodo sean mayores en el suelo arenoso, ya que éste tiene un contenido de materia orgánica inferior. De este modo queda también explicado el menor efecto obtenido al añadir el lodo compostado, dadas las características de mayor madurez de su materia orgánica, que la hace menos asimilable para los microorganismos del suelo. El mayor efecto observado por el añadido de LD comparado con el que produce LT podría ser debido a la posible menor actividad de este último por la acción esterilizante que el tratamiento térmico puede haber producido en su biomasa microbiana.

SUELO	TRATAMIENTO	C. ORGÁNICO	FOSFATASA		FÓSFORO	
		g C 100 g ⁻¹	TOTAL(μmol p- nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹)	ESPECÍFICA(μmol p-nitrofenol g ⁻¹ C h ⁻¹)	Olsen mg P kg ⁻¹	Añadido mg P kg ⁻¹
ARCILLOSO	CO	0.561 F	0.248 F	45.89 CD	2.8	0
	LCH	2.19 C	0.670 E	32.84 D	207.1 B	1363
	LCL	1.49 E	0.445 EF	35.51 D	149.0 C	709
	LDH	3.15 B	2.934 A	91.74 A	404.3 A	1779
	LDL	1.91 D	1.245 D	63.02 B	220.1 B	897
	LTH	3.78 A	1.921 B	50.93 BC	413.9 A	1545
	LTL	2.26 C	1.585 C	66.15 B	217.7 B	808
ARENOSO	CO	0.26 E	0.111 E	49.06 AB	1.44	0
	LCH	2.11 C	0.514 D	25.63 C	220.9 B	1309
	LCL	1.03 D	0.337 DE	33.86 C	143.2 C	687
	LDH	4.64 A	2.704 A	68.58 AB	396.3 A	1710
	LDL	3.19 B	1.831 B	71.62 A	268.7 B	848
	LTH	3.20 B	1.794 B	54.67 B	425.0 A	1525
	LTL	1.79 C	1.147 C	64.18 AB	223.5 B	799

Tabla 1.- Valores medios globales de los parámetros estudiados. CO: suelo control; LC: mezcla con lodo compostado; LD: mezcla con lodo deshidratado; LT: mezcla con lodo secado térmico; H: dosis alta; L: dosis baja. Letras mayúsculas: comparación entre tratamientos y dosis para cada suelo; valores no seguidos por la misma letra son significativamente distintos (p<0.05)

El efecto intensificador (cociente entre la actividad de la mezcla y la actividad del suelo control) sobre la actividad total producido por los lodos añadidos a ambos suelos (Tabla 2) presenta en general poca variación en el período comprendido entre los siete días y los dos meses y sufre en cambio una importante disminución, más intensa en las mezclas con LD y LT que en las que contienen LC, entre los dos y los nueve meses. Estos resultados son explicables por la fuerte mineralización de la materia orgánica de las mezclas ocurrida durante este último período (datos no expuestos). A pesar de ello la actividad de las mezclas continúa siendo superior a la del suelo en el último muestreo realizado, y el incremento continúa siendo más alto en las que contienen LD que LT y mayor en éstas que en las que contiene LC; también continúa siendo mayor la actividad de las mezclas con mayor contenido de lodo (datos no expuestos).

SUELO	TRATAMIENTO	μmol p-nitro fenol g ⁻¹ m.s h ⁻¹		
		7 días	67 días	267 días
ARCILLOSO	CO	0.339 D	0.219 C	0.186 C
	LC	0.796 C	0.490 C	0.429 BC
	LD	2.634 B	2.313 A	1.239 A
	LT	2.928 A	1.611 B	0.686 B
ARENOSO	CO	0.163 C	0.097 D	0.092 C
	LC	0.433 C	0.468 C	0.378 C
	LD	3.026 A	2.690 A	1.086 A
	LT	2.130 B	1.490 B	0.791 B

Tabla 2. Evolución de la actividad fosfatásica total en los suelos control y en los valores medios de ambas dosis de las mezclas. Para identificación de las siglas ver Tabla 1. Letras mayúsculas: comparación entre tratamientos para cada suelo

Este mismo efecto intensificador varia mucho menos en el caso de la actividad específica (Tabla 3), pero en todos los casos su evolución es hacia el aumento, lo cual indica que la materia orgánica que no se mineraliza va aumentando su actividad fosfatásica a medida que se va estabilizando.

SUELO	TRATAMIENTO	$\mu\text{mol p-nitro fenol g}^{-1}\text{C h}^{-1}$		
		7 días	67 días	267 días
ARCILLOSO	CO	67.19 B	39.00 BC	31.47 B
	LC	37.44 C	23.09 C	37.70 B
	LD	94.44 A	79.10 A	58.71 A
	LT	84.87 A	50.03 B	40.71 B
ARENISCA	CO	95.59 A	49.71 BC	24.35 A
	LC	26.22 C	29.49 C	33.7 A
	LD	67.16 B	115.25 A	27.89 A
	LT	77.75 AB	64.81 B	35.73 A

Tabla 3. Evolución de la actividad fosfatásica específica en los suelos control y en los valores medios de ambas dosis de las mezclas. Para identificación de las siglas ver Tabla 1. Letras mayúsculas: comparación entre tratamientos para cada suelo.

Fósforo asimilable. La aplicación de altas dosis de lodos a los suelos estudiados (Tabla 1 para valores medios globales) implica un aumento muy importante del contenido en fósforo asimilable, muy por encima del valor encontrado por Heckrath et al. 1996 (60 mg P Kg^{-1}), a partir del cual las pérdidas de P por drenaje son considerables. En ambos suelos y en todos los muestreos (Tabla 4) se observa una disponibilidad inferior de P en la mezcla con LC, del orden de la mitad que en los otros tratamientos. Este fenómeno no es atribuible a la cantidad de P aportada, que es muy similar en todos los tratamientos (Tabla 1), sino probablemente a algún proceso que ha tenido lugar a lo largo del compostaje del lodo, proceso durante el cual el P se ha transformado a formas menos asimilables.

A excepción de en la mezcla con LC, en las demás mezclas se observa un aumento significativo de la disponibilidad de P al aumentar la dosis de lodo aplicada, aumento que es proporcional a la dosis. No se detecta un efecto claro del tipo de suelo. En las mezclas de ambos suelos, especialmente en el caso de la que contiene LT se observa, a partir del primero o segundo mes de incubación, una tendencia a la disminución de su contenido en este parámetro.

Suelo	Tratamiento	7 días	39 días	67 días	139 días	223 días	293 días
ARCILLOSO	CO	0.8	2.1	2.6	3.7	2.2	2.3
	LCH	199.4 A	226.7 A	183.7 A	179.1 A	277.9 A	175.5 A
	LCL	107.4 B	180.0 A	152.4 A	136.0 A	164.6 B	153.5 A
	LDH	487.5 A	402.3 A	413.7 A	384.3 A	383.3 A	354.8 A
	LDL	184.4 B	258.1 B	242.8 B	197.1 B	232.3 B	206.1 B
	LTH	608.7 A	410.0 A	440.2 A	311.7 A	378.0 A	334.9 A
	LTL	210.3 B	209.1B	306.4 B	175.2 B	191.4 B	213.9 B
ARENOSO	CO	0.3	1.2	1.7	1.7	1.44	1.4
	LCH	137.4 A	299.8 A	190.3 A	239.2 A	294.4 A	164.1 A
	LCL	129.6 A	172.2 B	121.6 A	148.8 B	166.6 B	120.3 A
	LDH	348.6 A	453.5 A	393.8 A	406.0 A	378.1 A	397.7 A
	LDL	233.6 B	304.9 B	283.0 B	287.8 B	247.5 B	255.5 B
	LTH	399.9 A	469.2 A	454.9 A	394.8 B	446.1 A	355.5 A
	LTL	147.5 B	296.8 B	260.4 B	210.7 B	222.7 B	207.2 B

Tabla 4.- Evolución del contenido de P Olsen (mg kg^{-1}) en controles y mezclas para cada suelo Para identificación de las siglas ver Tabla 1 Letras mayúsculas: comparación entre dosis para cada tipo de mezcla.

Agradecimientos: CIRIT/ Dep.Medi Ambient Generalitat Catalunya (financiación proyecto).

Referencias

- *Bonmatí M., Pujolá M., Saña J., Soliva M., Felipó M.T., Garau M., Ceccanti B. and Nanniperi P. 1985 Chemical properties, populations of nitrite oxidizers, urease and phosphatase activities in sewage-sludge-amended soils. *Plant and Soil* 84, 79-91.
- *Bonmatí M., Jiménez P., Álvarez H., Calero E., Juliá M., Morillo M. y Núñez E. 2000.Evolución de las actividades enzimáticas en el proceso restaurador de dos suelos procedentes de la explotación de canteras de Cataluña utilizando altas dosis de lodos de depuradora.. Capítulo IV en “Investigación y Perspectivas de la Enzimología de Suelos en España” (C. García y M. T. Hernández, Eds) pp 207-293. CSIC-CEBAS. Murcia. 2000.
- *Emmerling C., Liebner C., Haubold-Rosar M., Katzur J. and Schröder D. 2000. Impact of application of organic waste materials on microbial and enzyme activities of mine soils in the Lusatian coal mining region. *Plant and Soil* 220, 129-138.
- *García C., Hernández T., Costa F. and Ceccanti B. 1994. Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic wastes. *Waste Management & Research* 12, 457-466.
- *GTNMA (Grupo de trabajo de Normalización de Métodos analíticos). 1982. Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos III: P asimilable. *Anal. Edaf. y Agrobiología* XLI 7-8,1331-1344.
- *Heckart G., Brookes P.C. Poulton P.R., Goulding K.W.T. 1996. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk Experiment. *Jenv.Qua.* 25:904-910.
- *Walkey. 1935. An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils. *Journal of Agricultural Science* 25, 598-609.

